

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CONSTRUCCIÓN DE EMBARCACIONES DE  
MADERA**

PRESENTADO POR:

**MARC BORRÁS PADROSA**

**20-24-5172**

Trabajo de Graduación presentado para  
optar por el título de Grado en Náutica y  
Transporte Marítimo

PROFESOR ASESOR:

**PLAZAOLA, CARLOS RAMON**

Panamá, Republica de Panamá

DICIEMBRE, 2019

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CONSTRUCCIÓN DE EMBARCACIONES DE MADERA**

PRESENTADO POR:

**MARC BORRÁS PADROSA**

**20-24-5172**

**APROBADO:** \_\_\_\_\_

**M.s.C. CARLOS PLAZAOLA**

Asesor de Tesis

**APROBADO:** \_\_\_\_\_

**M.s.C. MIGUEL MORENO**

Jurado Calificador

**APROBADO:** \_\_\_\_\_

**M.s.C. SAID VARGAS**

Jurado Calificador

## **RESUMEN**

La navegación marítima ha sido un factor de gran relevancia para el desarrollo de las sociedades a lo largo de la historia. Para ello, fue necesario la construcción de embarcaciones que se adaptaran a las circunstancias y necesidades de cada momento. Por este motivo, la evolución de la construcción naval siempre ha estado relacionada con la evolución de la sociedad. Desde el Antiguo Egipto hasta la actualidad los barcos han experimentado una gran variedad de modificaciones relativas a sus formas, tamaños y funciones.

Este trabajo se centra en el estudio de la construcción de embarcaciones de madera. Centrándose en investigar las herramientas y utensilios, así como las técnicas utilizadas en aquella época por los maestros de la construcción de embarcaciones de madera. Que en la actualidad se siguen manteniendo prácticamente la totalidad de ellas, solo que algunas se han mejorado con la modernización.

## **AGRADECIMIENTO**

A todos mis compañeros, amigos y familiares en los que he encontrado apoyo siempre que lo he necesitado, y en especial a mis padres por su ayuda incondicional todos estos años.

Finalmente, agradecer a la UTP la oportunidad de haber podido realizar aquí mi trabajo final de grado. En especial a Carlos Plazaola, como asesor del trabajo, por su dedicación y trato recibido a lo largo de la realización de este.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE GENERAL.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
INTRODUCCIÓN.....	XIII

### CAPÍTULO 1

#### CONTEXTO DE LAS EMBARCACIONES DE MADERA

1.1 Réplica.....	7
1.2 Restauración.....	8
1.3 Rehabilitación.....	9
1.4 Recuperación.....	10
1.5 Astilleros.....	11

### CAPÍTULO 2

#### MATERIALES

2.1 Madera.....	16
2.2 Clavazón.....	23

2.3 Pintura.....	23
------------------	----

### **CAPÍTULO 3**

#### **HERRAMIENTAS**

3.1 Herramientas de corte.....	25
3.2 Herramientas de tallar.....	29
3.3 Herramientas de cepillar.....	33
3.4 Herramientas de acabado de superficies.....	40
3.5 Herramientas de percusión.....	40
3.6 Herramientas de extracción.....	42
3.7 Herramientas de perforación.....	43
3.8 Herramientas de calafatear.....	45
3.9 Herramientas de sujeción.....	47
3.10 Herramientas de medida y trazado o marcado.....	48

### **CAPÍTULO 4**

#### **EL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN**

4.1 Tipos de popa.....	57
4.2 Construcción de la quilla.....	59
4.3 Construcción de las cuadernas.....	60

4.4 Uniones estructurales.....	62
4.5 Refuerzos del casco.....	67
4.6 Forrado del casco.....	68
4.6.1 Forro a tope o carabela.....	68
4.6.2 Forro a tingladillo.....	69
4.6.3 Doble forro.....	70
4.7 Puesta a flote y botadura.....	71
4.8 Técnicas modernas de construcción.....	73
4.8.1 Madera Laminada.....	73
4.8.2 Contrachapado.....	74
4.8.3 Cosido y estratificado.....	75
4.8.4 Forro de listones.....	76
CONCLUSIONES.....	78
RECOMENDACIONES.....	79
BIBLIOGRAFÍA.....	80
WEBGRAFÍA.....	81

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Construcción de un cayuco.....	1
<b>Figura 2</b> Barca fluvial (1420 a. C.).....	2
<b>Figura 3</b> Interpretación del sistema de un quinquerreme.....	3
<b>Figura 4</b> Dracar vikingo.....	5
<b>Figura 5</b> Réplica de la Nao San Juan.....	8
<b>Figura 6</b> Restauración Pailebote Santa Eulália.....	9
<b>Figura 7</b> “Margaret Allison” original al puerto de Whitby.....	10
<b>Figura 8</b> Sala de Gálivos.....	12
<b>Figura 9</b> Astillero de Guayaquil.....	13
<b>Figura 10</b> Clasificación de durabilidad natural de la madera.....	16
<b>Figura 11</b> Almacenamiento de troncos de roble en Astillero.....	21
<b>Figura 12</b> Sierra tronzadora (1), Sierra de aire (2), Sierra portuguesa (3).....	27
<b>Figura 13</b> Serrucho ordinario.....	27
<b>Figura 14</b> Serrucho de punta.....	28



<b>Figura 15</b> Serrucho de costilla.....	28
<b>Figura 16</b> Serrucho de vueltas o sierra de contornear.....	29
<b>Figura 17</b> Hacha.....	30
<b>Figura 18</b> Azuela de mano.....	30
<b>Figura 19</b> Inxola acanaladora.....	31
<b>Figura 20</b> Azuela de pie o de dos manos.....	32
<b>Figura 21</b> Formón, trencha.....	32
<b>Figura 22</b> Gubias.....	33
<b>Figura 23</b> Garlopa.....	34
<b>Figura 24</b> Cepillo de mano.....	34
<b>Figura 25</b> Cepillo metálico.....	35
<b>Figura 26</b> Guillaume.....	36
<b>Figura 27</b> Cepillo curvo de madera.....	36
<b>Figura 28</b> Cepillo curvo metálico.....	37
<b>Figura 29</b> Rebajador.....	37
<b>Figura 30</b> Machembra.....	38

<b>Figura 31</b> Cepillo de moldurar.....	38
<b>Figura 32</b> Acanalador ajustable.....	39
<b>Figura 33</b> Mazo.....	41
<b>Figura 34</b> Martillo de uña.....	41
<b>Figura 35</b> Tenazas.....	42
<b>Figura 36</b> Botador.....	42
<b>Figura 37</b> Pie de Cabra.....	43
<b>Figura 38</b> Barreno.....	44
<b>Figura 39</b> Berbiquí sencillo.....	44
<b>Figura 40</b> Mazo o martillo de calafatear.....	45
<b>Figura 41</b> Mazo o martillo de calafatear y hierros de calafatear.....	46
<b>Figura 42</b> Sargento de varas.....	47
<b>Figura 43</b> Prensa.....	48
<b>Figura 44</b> Falsa escuadra.....	49
<b>Figura 45</b> Gramil.....	49
<b>Figura 46</b> Sierra de cinta.....	51

<b>Figura 47</b> Regruesadora.....	52
<b>Figura 48</b> Cepilladora.....	52
<b>Figura 49</b> Herramientas de carpintería utilizadas en España.....	53
<b>Figura 50</b> Herramientas de carpintería utilizadas en Inglaterra.....	54
<b>Figura 51</b> Popa de lucra.....	57
<b>Figura 52</b> Popa de rabo de gallo.....	58
<b>Figura 53</b> Popa de espejo.....	58
<b>Figura 54</b> Popa de espejo.....	61
<b>Figura 55</b> Unión pico de flauta.....	63
<b>Figura 56</b> Unión machihembrada.....	63
<b>Figura 57</b> Unión a junta entera.....	64
<b>Figura 58</b> Unión piezas de la quilla según el tipo de construcción.....	65
<b>Figura 59</b> Unión a cola de milano.....	66
<b>Figura 60</b> Forro a tope.....	68
<b>Figura 61</b> Forro a tingladillo.....	70
<b>Figura 62</b> Doble forro.....	70

<b>Figura 63</b> Botadura en el mar.....	71
<b>Figura 64</b> Botadura con el método de zapata.....	72
<b>Figura 65</b> Madera Laminada.....	74
<b>Figura 66</b> Cosido y estratificado.....	76
<b>Figura 67</b> Forro de listones.....	77

## **INTRODUCCIÓN**

Este trabajo se divide en cuatro capítulos. En el primero se aborda la evolución de las etapas de la construcción de buques en la historia, des de los tiempos de los egipcios, mayas y vikingos hasta llegar a nuestros días como embarcaciones de recreo.

En el segundo capítulo se dimensionan los diferentes tipos de materiales utilizados para la construcción de buques de madera, así como sus propiedades y características principales.

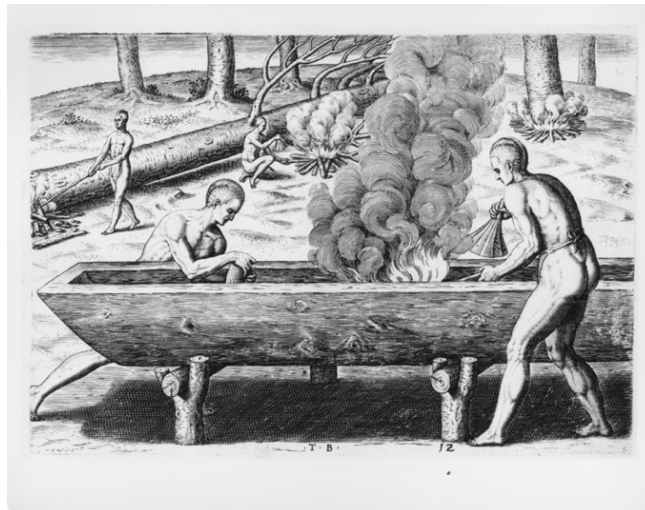
En el tercer capítulo se describen las diferentes herramientas que utilizaban los constructores de buques, clasificándolos según su utilidad y función.

Por ultimo, en el cuarto capitulo, se explica el proceso constructivo de los buques de madera. Describiendo la construcción del tipo secuencial de las partes principales de las embarcaciones, como la quilla, cuadernas, el forrado de la embarcación y la puesta a flote.

## CAPÍTULO 1

### CONTEXTO DE LAS EMBARCACIONES DE MADERA

Las embarcaciones de madera se han usado desde tiempos inmemoriales, desde los egipcios, mayas, vikingos, piratas y corsarios o grandes flotas de guerra como La Armada Invencible. Sus propósitos han sido varios: desde la pesca, guerra, transporte de mercancías o hasta llegar a nuestros días como embarcaciones de recreo.



**Figura 1** Construcción de un cayuco. (Fuente: Wikipedia.org)

Se presume que las primeras embarcaciones fueron cayucos, desarrollados por varias poblaciones de la edad de piedra sin lazos entre sí y utilizados para la pesca costera y los viajes. Los indígenas del noroeste del

Pacífico eran muy hábiles en los trabajos hechos con madera. Bien conocidos por los tótems de hasta 24 m (80 pies) de altura, también construyeron canoas de más de 18 m (60 pies) de eslora, que eran utilizadas para actividades cotidianas y en rituales o ceremonias.

Las primeras evidencias arqueológicas del uso de los barcos se remontan a 50.000 o 60.000 años atrás en Nueva Guinea.

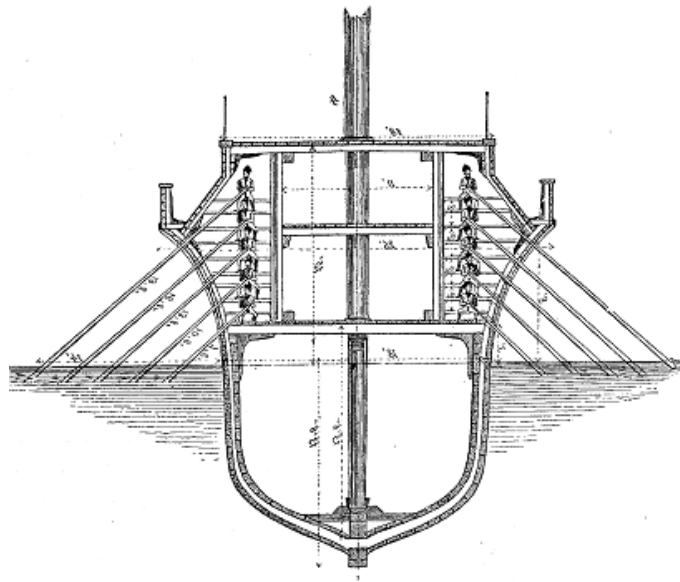


**Figura 2** Barca fluvial (1420 a. C.). (Fuente: historiando.org)

Los egipcios navegaban el Nilo en sus travesías comerciales o militares, eran consideradas también parte de la riqueza que debía acompañar a los faraones y nobles luego de su muerte. Sus naves eran aptas para el tráfico fluvial no para el marítimo. Estos barcos estaban contruidos sobre un armazón de madera de gran tamaño. Eran embarcaciones de vela y de remo, ambos usados

para transportar materiales para la construcción. Otros contaban con un mástil que poseía una vela rectangular y remos que hacían función de timón, lo que aseguraba una mayor estabilidad en cargas pesadas.

Una de las civilizaciones que usaron plenamente los barcos fueron los fenicios. Estos han sido reconocidos por ser excelentes constructores de grandes embarcaciones. Estas no solo sirvieron para transportar cargas pesqueras o comerciales, sino también, para labores de combate y guerras.



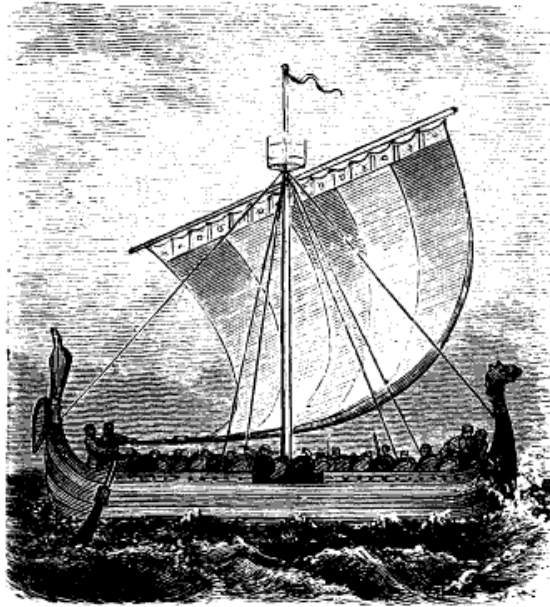
**Figura 3** Interpretación del sistema de un quinquerre. (Fuente: Wikipedia.org)



El desarrollo de la navegación en tiempos greco-romanos llevó a la construcción de amplios trirremes, que contaba con tres bancos de remeros superpuestos a distinto nivel en cada flanco, de ahí su nombre y los quinquerreme, estos con cinco bancos de remeros superpuestos. Estos barcos se diferenciaban por estar contruidos en maderas como el ciprés, pino, cedro u otros materiales resistentes. Con estas asombrosas naves y gran conocimiento marino, estas flotas se introducían mar adentro hasta llegar a las islas británicas y a la costa de África.

Con el paso del tiempo, los romanos emprendieron una lucha por las aguas y rutas marítimas. Para ello, desarrollaron embarcaciones de tipo galeras que servían para abordar barcos enemigos. También, en el área comercial, utilizaron barcos de hasta 53 metros de longitud desde la proa hasta la popa. En sus estructuras no faltaba la vela cuadras aparejadas en tres palos.

Las embarcaciones chinas incorporaron el timón en el siglo I a. C., dispositivo que recién se utilizó en Europa a partir del siglo XII. Para el siglo IX los normandos o vikingos eran los dueños del mar con embarcaciones largas y delgadas llevadas por velas. Estas se conocían con el nombre de dracares. Seguidamente, aparecieron diversos tipos de naves que se generalizaron con el uso de la brújula, embarcaciones que ya eran de gran tamaño y transportaban enormes cargas.



**Figura 4** Dracar vikingo. (Fuente: historiando.org)

En la Edad Media, la navegación sufrió un retroceso que no se recuperó hasta el siglo XV con la aparición de la embarcación Urca, utilizada por las marinas de los países nórdicos y por sus creadores los holandeses, debido a sus similitudes con los barcos de los vikingos, por su capacidad de carga y su buena adaptación como buque de guerra. También ayudó la reactivación de las rutas comerciales marítimas impulsó de nuevo el viaje por mar.

En la época de los descubrimientos estos nuevos modelos de buques, creados para surcar el Báltico y el Mediterráneo, fueron sustituidos por galeones y carabelas, ideadas para las travesías oceánicas, pasando la actividad marítima y los astilleros a la costa atlántica (Londres).

Hasta el siglo XVII no empezaron las primeras construcciones en metal, durante la revolución industrial se crearon los primeros diques secos artificiales con ladrillos, mientras que los materiales plásticos y los compuestos de fibra de vidrio o fibra de carbón con resinas epóxicas empezaron en el siglo XX.

La construcción de barcos de madera ha ido evolucionando desde la construcción tradicional con banzos, hasta llegar hoy en día a la construcción utilizando técnicas modernas. Los barcos contruidos en madera laminada tienen una gran relación rigidez-peso y conservan la belleza de la madera.

El carpintero de ribera es el artesano que se dedica al trabajo de la madera para la construcción naval en madera o para recuperar una antigua. La madera ha sido el material básico utilizado para la construcción del casco y la arboladura de las embarcaciones hasta el primer tercio del siglo XIX en que comenzó a utilizarse el hierro y el acero, en forma de planchas y piezas fundidas desplazando de madera progresiva la madera.

Desde la introducción del vapor como método de propulsión, la construcción de buques nuevos de madera ha entrado en decadencia. Se han establecido unos modelos para recuperar dichas barcas para evitar que se pierda el patrimonio marítimo material.

Dichos conceptos se utilizan tanto en arquitectura como en arte y son los siguientes:

- Réplica
- Restauración
- Rehabilitación
- Recuperación

### **1.1 Réplica**

Se dice de la reproducción de la que sólo se conservan los planos y alguna imagen, si es posible y mediante técnicas modernas o materiales distintos a los utilizados en su época. La inclusión de estas modificaciones puede ser forzada por la normativa vigente de seguridad o construcción.

Como ejemplo de réplica podríamos identificar el ballenero vasco San Juan que se está construyendo en el astillero de Albaola en Pasaia, después que el original se hundiera en Red Bay (Canadá) en 1565.



**Figura 5** Réplica de la Nao San Juan. (Fuente: turismovasco.com)

## **1.2 Restauración**

La restauración es el método más estricto, si se quiere ser purista. Representa el acto de entrar en posesión de un bien, ya sea porque estuviera abandonado o desaparecido como sería el ejemplo de un pecio, que significa pedazo o resto de una nave que ha naufragado, para posteriormente recuperarlo mediante técnicas arqueológicas, científicas o métodos originales para dedicarla a un fin que tenga que ver con sus orígenes y se pueda dar a conocer dentro de un entorno cultural, como por ejemplo un museo. Un ejemplo de restauración es el Ilaüt Elías expuesto en el Museo Marítimo de Barcelona. El mantenimiento,

tanto diario como a largo plazo, de una embarcación que ha sufrido una restauración debe ser documentada y hay que distinguir los elementos no originales para poder diferenciarlos.



**Figura 6** Restauración Pailebote Santa Eulàlia. (Fuente: navegarespreciso.com)

### **1.3 Rehabilitación**

Es una de las técnicas más utilizadas ya que consiste en adaptar la embarcación a un nuevo estado que le permita realizar una función igual o distinta a la original, eso utilizando las técnicas que más convengan para adaptarse a la normativa vigente. Presenta el inconveniente de que hay una pérdida de autenticidad, ya que muchas veces no se sabe diferenciar lo antiguo de lo moderno. Como es una de las técnicas más utilizadas se pueden dar muchos ejemplos: el Far Barceloneta, el Sant Ramón o el Margaret Allison.



**Figura 7** “Margaret Allison” original al puerto de Whitby. (Fuente: [elmoll.arenys.cat](http://elmoll.arenys.cat))

#### **1.4 Recuperación**

Así como con la reconstrucción son los métodos más puristas ya que se deben respetar al máximo los materiales originales. Para que se proceda a una recuperación el estado de la embarcación lo debe permitir y en un futuro debe realizar la misma función que la original.

## **1.5 Astilleros**

La palabra Astillero viene de la astilla, que es un pequeño trozo que se desprende de la madera. La madera era el material del que estaban construidas todas las embarcaciones antes del uso del metal para esa labor.

El astillero es el lugar donde se construyen y reparan embarcaciones. Puede tratarse de barcos comerciales, buques de guerra, yates u otro tipo de embarcaciones para transporte de mercancías o de pasajeros. Los astilleros se ubican cerca del mar o de ríos navegables, para permitir el acceso de las embarcaciones al mar.

Los astilleros cuentan con una zona principal llamada las gradas, donde se lleva a cabo la construcción del casco. Además de la zona de construcción, el astillero comprende muchas otras dependencias, como la oficina técnica, los talleres, las oficinas comerciales y administrativas.

En la oficina se proyecta la embarcación, proporciona los datos necesarios para la construcción de sus partes y se realizan los cálculos que atañen a su desplazamiento, tonelaje, potencia de propulsión, estabilidad, entre otras características. Los talleres se encargan de la soldadura, cortar y pulir planchas, así como de construir máquinas y aparatos mecánicos.

Las oficinas comerciales y administrativas se encargan del aprovisionamiento de los materiales, los pagos, los seguros, etc.



Otro elemento de gran importancia eran las salas de gálivos de los astilleros, que tenían por objeto trazar las líneas a escala natural de un buque y luego construir las plantillas y moldes de las cuadernas y demás elementos estructurales, a partir de los citados trazados.



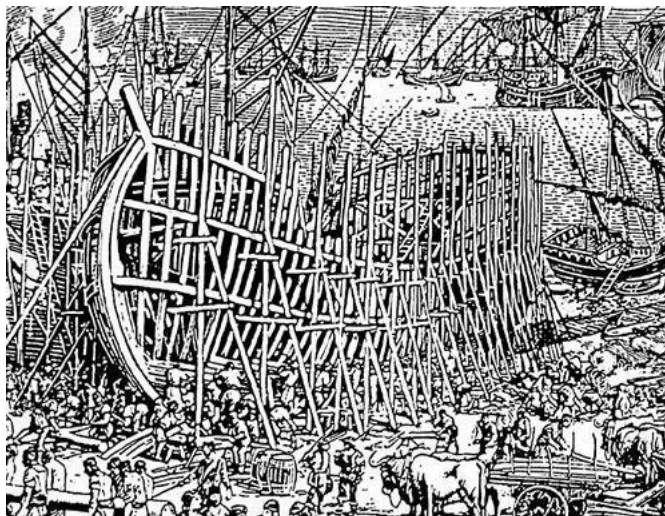
**Figura 8** Sala de Gálivos. (Fuente: galiciaartabradigital.com)

Antiguamente, en la Edad Media, fueron importantes los astilleros de Venecia, Génova y Pisa, a los que vinieron pronto a añadirse en 1252 los astilleros de Sevilla, una de las mayores instalaciones industriales de la Baja Edad Media en Europa, de extensión comparable a la que tenía por entonces el Arsenal de Venecia, que fue un complejo formado por astilleros y armerías de propiedad estatal que jugó un papel principal en la construcción del poderío naval de la República de Venecia, durante la Edad Media y la Edad Moderna. También

fueron particularmente importantes los Astilleros del reino de Aragón, actualmente Cataluña, como el de Arenys, Blanes, Barcelona, Mataró, Villanueva y Geltrú, Sitges y Tortosa.

Las ciudades con ríos navegables han sido también sede de importantes astilleros. Por ejemplo, en el Reino Unido el rey Enrique VIII de Inglaterra fundó astilleros en Woolwich y Deptford en 1512 y 1513, en las orillas del Támesis. Y en España, los astilleros en el río Guadalquivir.

El Astillero de Guayaquil, en Ecuador, fue fundado en 1547 y llegó a ser el más grande de América del Sur.



**Figura 9** Astillero de Guayaquil. (Fuente: [enciclopediaelecuador.com](http://enciclopediaelecuador.com))

Con el descubrimiento de América y las expediciones militares a Flandes, decayó en gran manera la marina en España, pero aun así se siguieron construyendo barcos en sus astilleros.

En la actualidad, debido a la importancia del sector marítimo todas las naciones se han preocupado de crear astilleros para fabricar buques mercantes y de guerra.

En los últimos años los astilleros europeos han perdido fuerza con respecto a los de Japón y Corea del Sur. Actualmente, los astilleros con mayor carga de trabajo están en China, Corea del Sur y Japón.

## **CAPÍTULO 2**

### **MATERIALES**

Para la construcción de los elementos estructurales de mayor responsabilidad, quilla, sobrequilla, roda, codaste, cuadernas, baos, durmientes, palmejares y otras similares se ha empleado tradicionalmente, y se mantiene su utilización en la actualidad, el roble, por ser una madera dura y con buena resistencia mecánica, de buen comportamiento frente a la humedad y la acción del agua de mar, completando estas propiedades con una buena resistencia al ataque de hongos, insectos y moluscos.

El tanino que encierran sus fibras acelera la oxidación de los clavos fabricados con aleaciones de hierro, problema que se ha resuelto históricamente con la renovación periódica de estos elementos y en época más reciente mediante el empleo del galvanizado en el proceso final de fabricación de la pernería y clavazón. También se han utilizado materiales metálicos no férricos como el cobre o sus aleaciones y en épocas más recientes el acero inoxidable.

La escasez de maderas de roble de la adecuada longitud obligó a la utilización de otras especies como el eucalipto, la teca, el iroko, el sipo y el abeto rojo, entre otras.

## 2.1 Madera

La madera para la construcción de buques debe ser adecuada para el entorno marino en el que se navegará. Esta madera se clasifica en distintas clases en función de su durabilidad, que va de la 1 a la 4 según los años que aguanta sin dañarse. Esta clasificación está hecha por la normativa ISO 12215:

<b>Clase 1</b>	<b>Muy durables (vida útil estimada en más de 30 años)</b>		
	Ciprés del sur Curupay Guayacán Mora colorada	Quebracho colorado Quina colorada Urunday Urundel	
<b>Clase 2</b>	<b>Durables (vida útil estimada entre 10 y 30 años)</b>		
	Algarrobo Anchico colorado Calden Cancharana	Coihue Lapacho Roble pellín	
<b>Clase 3</b>	<b>Poco durables (vida útil estimada entre 5 y 10 años)</b>		
	Azota caballo Caroba Cedro Espina corona Eucalipto saligna/grandis Grapia o Ibirá peré Guaraniná Guatambú blanco Guayaibí Guayaibí amarillo Incienso Laurel	Lenga Loro blanco Marmelero o Ibirá puitai Nogal criollo Palo amarillo Palo blanco Palo rosa Paraíso Pehuén (Pino de Neuquén) Persiguero Peteribí Pino chileno	Pino del cerro Pino resinoso nacional: (elliotti y taeda) Pino spruce Quebracho blanco Raulí Roble del país, palo trébol o Cerejeira Tipa blanca Virapitá Viraró
<b>Clase 4</b>	<b>Muy poco durables (Vida útil estimada menor de 5 años)</b>		
	Álamo  Carne de vaca Kiri	Pino Brasil o Paraná o Misionero	Sauce  Zapallo caspi

**Figura 10** Clasificación de durabilidad natural de la madera. (Fuente: studylib.es)

Como normas generales, hay distintos factores que hay que tener en cuenta a la hora de construir un buque con algún tipo de madera. Por ejemplo, la madera para partes estructurales debe estar libre de defectos que puedan afectar a la resistencia y durabilidad, o la madera utilizada para la entabladura del casco debe cortarse teniendo en cuenta el alabeo, contracción e hinchazón en la condición según montaje. Además, la madera que se corta para la entabladura del casco se debe serrar de través con un ángulo de los anillos anulares al corte del borde inferior de 45 grados para la construcción de forro sencillo a tope.

Finalmente, en todos los casos el contenido de humedad de la madera debe estar dentro de los límites requeridos por el método de unir las piezas y teniendo en cuenta la estabilidad dimensional de la estructura.

A continuación, describo las características más destacadas de los tipos de madera más utilizados en la construcción naval. Entre paréntesis se especifica el grado de durabilidad que tiene cada una:

**- Madera de Roble (1):** Se trata de un árbol de crecimiento relativamente lento, a menos que las condiciones sean especialmente propicias. Puede alcanzar hasta los 40 metros de altura y los 3 de diámetro. Crece hasta que cumple los 200 años, aunque puede vivir fácilmente hasta 600. El color del roble varía de los marrones claros a oscuros, pasando por tonos blanquecinos, rojizos o amarillos. Existen muchas especies, cada una de ellas con particulares tonalidades de color. Es una

madera resistente y relativamente densa. Entre los 700-770 kg/m<sup>3</sup> de densidad con un grado de humedad del 12%. Tiene una buena resistencia a la humedad.

- **Madera de Pawlonia (3):** También se conoce como kiri, y proviene sobre todo de zonas asiáticas, donde se lleva usando desde hace años. Se ha introducido en occidente desde hace relativamente poco, y en España aún no se ha explotado, ya que se usa para hacer pequeñas pruebas. Es de un color claro y pálido, tiene una relación resistencia-densidad muy buena y aunque es muy ligera, tiene una gran resistencia a los golpes y los esfuerzos de torsión. Es muy fácil de trabajar, ya que se seca de manera fácil y rápida, entre 40 y 50 días. Tiene una gran resistencia a la humedad, y si el árbol se tala correctamente se consiguen tablas rectas y sin nudos.

- **Abeto rojo (4):** Esta madera se saca de árboles que crecen básicamente en países del Norte de Europa, y los troncos alcanzan unos 50m de altura por 1,5 metros de diámetro. Su principal uso en la construcción naval es para construir mástiles, ya que son muy ligeros y resistentes a la flexión.

- **Caoba Africana (2):** Es una madera que se encuentra en África Occidental y adquiere un rojo pálido una vez secado, que con el tiempo cambia a marrón. Es durable y estable, pero poco permeable y no resiste mucho a los esfuerzos de

flexión. Uno de sus principales problemas es que es muy atacable por los xilófagos marinos y las termitas.

- **Sipo (2):** Es una madera proveniente de África, de un color marrón rojizo. Tarda muy poco en secarse, y tiene un riesgo muy pequeño de deformaciones durante el secado. Sus principales características son que es muy fácil de encolar y atornillar.

- **Madera de Framire (2):** Proviene de un árbol de unos 25m de altura, que crece en el continente africano. Es una madera ligera, de color claro y bastante duradera. Tiene las fibras rectas, y no tiende a curvarse, pero es relativamente débil. Es muy fácil de trabajar gracias a su ligereza, con un encolado y atornillado muy sencillo. Tiene una resistencia a los agentes naturales moderada, lo que significa que es prudente que no esté en contacto con factores que puedan dañarla, por lo que se suele usar en interiores.

- **Iroko (1):** Madera tropical, muy usada por su resistencia y durabilidad. Debido a su tala descontrolada actualmente se encuentra en riesgo, por lo que está protegida y cuesta de conseguir. Es de un color amarillento, y tarda bastante en secarse, con riesgo de deformación al hacerlo. Una vez secada es muy difícil que se curve, y es muy resistente a los insectos y hongos. El aserrado, clavado y atornillado es fácil, pero suele repeler tintes, barnices y pinturas que se sequen



por oxidación. Debido a sus características se utiliza básicamente para hacer suelos y tarimas en los buques.

- **Teca (1):** Es la madera más utilizada en la construcción de buques, debido a su gran estabilidad, flexibilidad y resistencia a los impactos. Crece en países asiáticos, y debido a su gran demanda hoy en día existen explotaciones que se dedican exclusivamente a ello. Aun así, su precio suele ser bastante elevado, por lo que existen varias imitaciones. Es de un color amarillento-marrón claro, con unas fibras rectas, a veces un poco onduladas. La misma madera contiene una especie de aceite, lo que le da un tacto aceitoso. Debido a este aceite puede aguantar a la intemperie sin ningún tipo de tratamiento previo. Tiene una alta durabilidad, ya que resiste muy bien la humedad y los insectos.

- **Madera Doussié (2):** Es una muy buena madera, casi tanto como la teca. Es de un color marrón rojizo, y crece en África. Sus fibras son rectas, en algún caso ligeramente entrecruzadas. Es muy poco impregnable, pero muy fácil de trabajar, ya que no presenta problemas en el encolado, atornillado y acabado. Es muy estable, y resistente a la flexión, compresión y tracción paralela.

- **Elon (2):** Procede básicamente del Oeste de África, y tiene un color pardo amarillento claro, con reflejos rojizos y vetas más oscuras que se van oscureciendo paulatinamente con la luz solar. Tiene un grano basto, unos poros

grandes, y una estructura homogénea con fibras que suelen ser entrelazadas. Es una madera bastante difícil de trabajar a causa de su gran resistencia mecánica e imputrescible.

El primer procedimiento se utilizaba en las maderas de roble que se sometían a un proceso de curado sumergiéndolas durante un largo periodo de tiempo, que podía llegar a ser de un año o más, en agua de mar con el fin de que la madera se desprendiera, por disolución en agua de mar, de la savia restante. Por este motivo los astilleros disponían una zona en la ribera donde se almacenaban los troncos de roble para garantizar la acción disolvente del agua salada, como se puede ver en la figura siguiente.



**Figura 11** Almacenamiento de troncos de roble en Astillero. (Fuente: repositorio.upct.es)

Para el secado de la madera, una vez cortados los troncos por la sierra en piezas de caras paralelas se disponen en tijera al aire libre y al cabo de un tiempo se apilan unas sobre otras separadas por listones en un lugar bajo techo y a ser posible en una zona donde existan corrientes de aire con el fin de secarlas adecuadamente

La madera es un material orgánico, es propenso a ser atacado por organismos vivos como hongos, insectos, moluscos, también se ve afectada por los factores climáticos y el paso del tiempo. Es por ello que la madera se solía curar utilizando en funcionamiento de una autoclave.

Una autoclave es una olla a presión grande, que funciona usando vapor a presión para esterilizar la madera. Las altas presiones permiten al vapor alcanzar altas temperaturas, incrementando su efectividad para matar las bacterias de la madera. Cuanta más humedad haya en el ambiente, más calor puede ser arrastrado por el aire, por lo tanto, el vapor es uno de los elementos más efectivos para arrastrar calor. El vapor causa la muerte eficiente de células y solidifica las proteínas, curando de esta forma la madera.

## **2.2 Clavazón**

La conexión de las diferentes piezas de la estructura de un barco de madera se realiza mediante uniones estructurales trabadas y la utilización de clavazón y pernería. Los elementos utilizados para este fin son las puntas, los clavos y los tornillos. Todos ellos se galvanizan en caliente para asegurar una eficaz protección frente a la corrosión.

Las puntas se utilizan para uniones de poca responsabilidad, los clavos para la unión de las tablas del forro a las cuadernas y los tornillos para la unión de las grandes piezas estructurales.

## **2.3 Pintura**

El principal problema de la madera como material de construcción naval es su vulnerabilidad frente al ataque de organismos vegetales y animales. Los organismos vegetales que actúan sobre la madera pertenecen a los tipos de las bacterias, mohos y hongos cromógenos y de pudrición. Estos últimos se alimentan de celulosa o lignina según los tipos, se propagan con facilidad en ambiente húmedo cuando la humedad supera el 20%, y se ven favorecidos por la oscuridad como es el caso de las bodegas y espacios interiores de los barcos de madera.

El crecimiento de organismos animales y vegetales en la cara exterior del forro de la obra viva tiene un efecto negativo sobre las características marineras de la embarcación, porque aumenta de manera significativa la resistencia al avance de la carena de forma progresiva debido al desarrollo de estos organismos y con el tiempo significa una reducción de la velocidad.

En el siglo XIX las pinturas utilizadas para proteger la obra viva de los buques eran fabricadas con aceite de linaza, aceite de pescado o saín añadiéndole unos polvos colorantes. Los colores más utilizados eran el blanco, marrón, rojo, azul, verde y negro humo.

## **CAPÍTULO 3**

### **HERRAMIENTAS**

Las herramientas tradicionales con las que realizaban los trabajos de construcción de buques de madera eran manuales y gran parte de ellas se mantuvieron prácticamente sin ningún cambio en el transcurso del tiempo al haber demostrado su utilidad en los trabajos para los que habían sido concebidas, desarrolladas y depuradas.

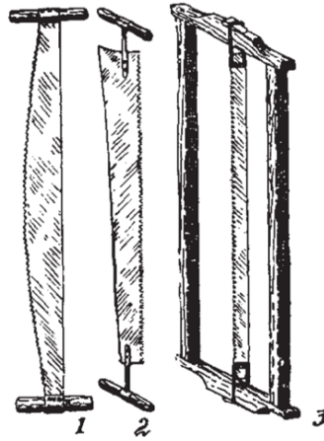
Estas herramientas están formadas en general por un bastidor de madera, adaptado por una parte a la mano que la va a manejar para lo que adopta la forma de mango o soporte, y por otra al elemento que va a trabajar directamente la madera y que normalmente es de hierro o acero mediante un sistema de fijación.

#### **3.1 Herramientas de corte**

Las herramientas de corte son cualquier objeto utilizado para eliminar material no deseado o en exceso de una pieza de trabajo por medio de su deformación por cizallamiento. Las herramientas de corte entran en contacto con la materia prima, cortan, eliminan restos y virutas del material y ayudan a crear la pieza final. Para que una herramienta de corte funcione correctamente, debe ser capaz de soportar

el calor que se genera durante el proceso de corte debido a la fricción y ser más dura en comparación con el material que se corta.

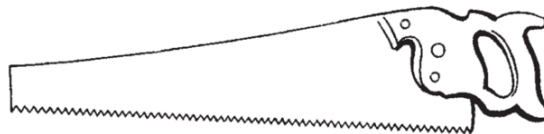
- **Sierra tronzadora o tronzador:** La hoja dentada es de gran longitud con unos manguitos de madera en los extremos, contenidos en el plano de la hoja. Lo manejaban dos personas, y se utilizaba para cortar troncos.
- **Sierra de aire, sierra de burro o sierra de dos manos:** Tiene la hoja más ancha que el tronzador con los manguitos perpendiculares a la hoja. Se utilizaba para el corte de los maderos, operación para la que se disponía el tronco sobre unos soportes, una vez talado el árbol, eliminada la corteza y marcado con una cuerda impregnada en un colorante el grueso de los maderos que se querían obtener.
- **Sierra portuguesa:** La hoja de acero aserrada se dispone en el centro de un bastidor de madera. Se utilizaba para el primer corte de los maderos directamente de los troncos. El nombre de portuguesa se debe al hecho de que los serradores, eran normalmente de origen portugués, y trabajaban por parejas.



**Figura 12** Sierra tronzadora (1), Sierra de aire (2), Sierra portuguesa (3).

(Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín Ilustraciones)

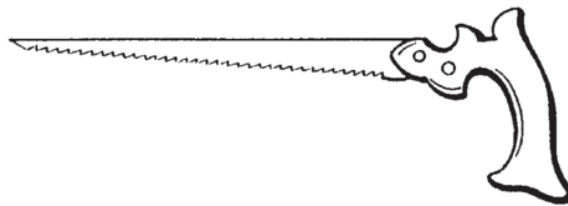
- **Serrucho ordinario:** Formado por una hoja de acero, ancha y robusta, dentada por uno de los cantos y dotado de mango de madera. El serrucho puede tener los dientes orientados en sentido contrario, hacia el mango.



**Figura 13** Serrucho ordinario. (Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín Ilustraciones)

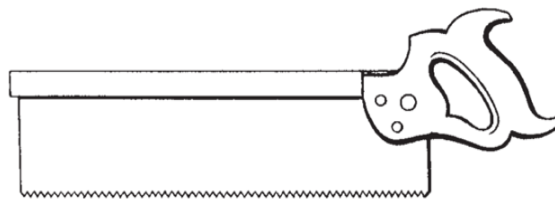


- **Serrucho de punta:** Tiene la hoja estrecha y terminada en punta. Se utiliza para abrir cortes, previa la elaboración de uno a varios taladros con ayuda de una broca. Suele tener mango de madera abierto.



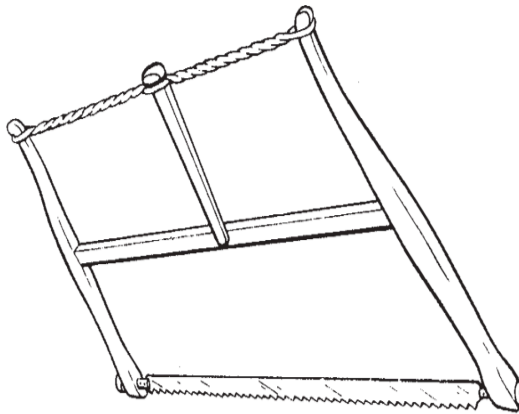
**Figura 14** Serrucho de punta. (Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín Ilustraciones)

- **Serrucho de costilla:** La hoja es de forma rectangular con un refuerzo o costilla, en la parte superior. Se utiliza para cortes en los que se requiera una mayor precisión.



**Figura 15** Serrucho de costilla. (Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín Ilustraciones)

- **Sierra de vueltas o sierra de contornear:** Tiene una hoja delgada montada sobre un bastidor que permite el tensado mediante una pieza de madera que gira alrededor de un cabo retorcido.

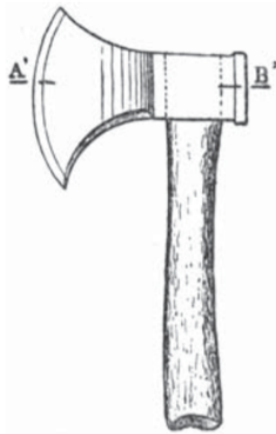


**Figura 16** Serrucho de vueltas o sierra de contornear. (Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín Ilustraciones)

### 3.2 Herramientas de tallar

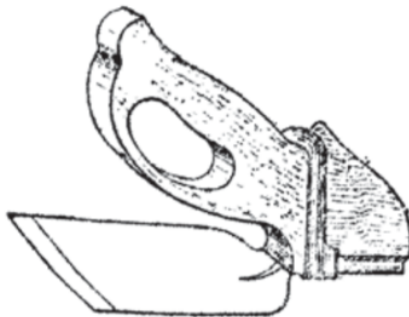
Las herramientas de tallar son las que permiten moldear la madera mediante un proceso de desgaste y pulido, con el propósito de darle una forma determinada.

- **Hacha:** Lámina de acero afilada en uno de sus cantos con un mango de madera.



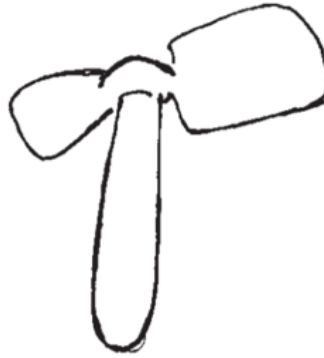
**Figura 17** Hacha. (Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín Ilustraciones)

- **Azuela de mano:** Lámina de acero curvada y afilada con mango de madera.



**Figura 18** Azuela de mano. (Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín Ilustraciones)

- **Inxola acanaladora:** Variante con el mango recto y la lamina menos curvada.



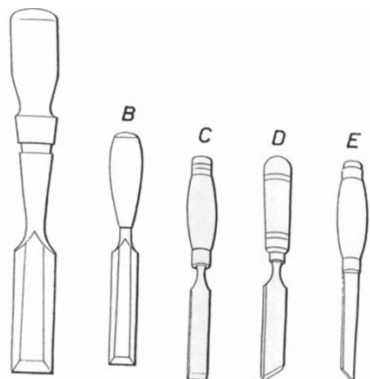
**Figura 19** Inxola acanaladora. (Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín Ilustraciones)

- **Azuela de pie o de dos manos:** Similar a la azuela de pie, pero con un mango de mayor longitud por lo que hay que asirla con las dos manos. Era muy peligrosa porque producía con frecuencia cortes de importancia en los pies del que la manejaba. De ahí que con ironía se denominase de pie.



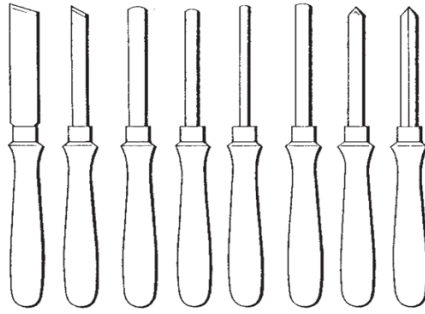
**Figura 20** Azuela de pie o de dos manos. (Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín Ilustraciones)

- **Formón, trencha:** Consta de una lámina de acero de cantos rectos y biselados y un mango de madera. La denominación de trencha se reserva para los de pequeño tamaño.



**Figura 21** Formón, trencha. (Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín Ilustraciones)

- **Gubias:** Similar al formón, pero con la punta curvada.



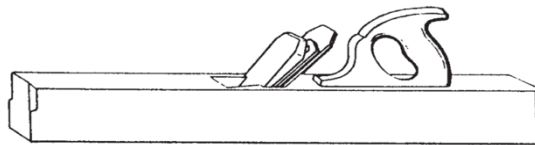
**Figura 22** Gubias. (Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín Ilustraciones)

- **Escoplo:** Similar al anterior, pero con la lamina más estrecha. Se maneja golpeándolo con maza.

### 3.3 Herramientas de cepillar

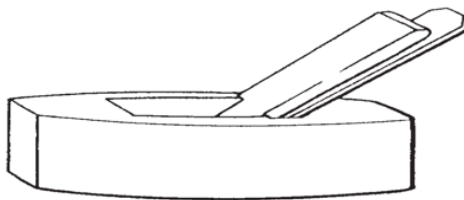
Las herramientas de cepillar son las que nos permiten alisar la madera con la ayuda de un cepillo de carpintero. Se entiende por cepillado el arranque de pequeñas láminas de una superficie de madera.

- **Garlopa:** Pieza prismática o caja de madera con un mango, una cuña, una hoja cortante inclinada y un contra hierro para quebrar la viruta. De un tamaño más reducido recibe el nombre de garlopín.



**Figura 23** Garlopa. (Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín Ilustraciones)

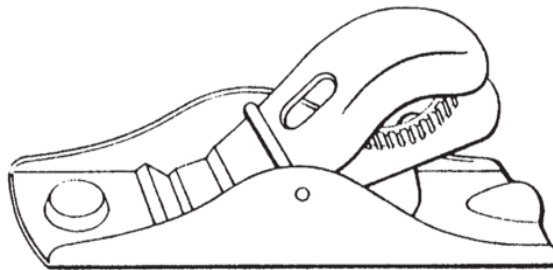
- **Cepillo de mano:** Más pequeño que el garlopín y sin mango.



**Figura 24** Cepillo de mano. (Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín Ilustraciones)

La garlopa, el garlopín y el cepillo se caracterizan según el ancho de la cuchilla que portan.

- **Cepillos metálicos:** Con armazón de hierro fundido. Tenían fama los fabricados por la casa americana Stanley, imitados por fabricantes españoles.

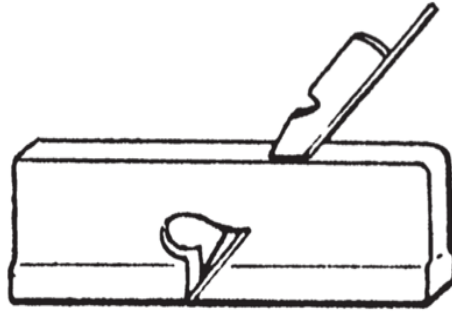


**Figura 25** Cepillo metálico. (Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín

Ilustraciones)

- **Guillaume:** La pieza prismática de madera tiene una reducida anchura, y el hierro es tan ancho como la caja. Puede llevar o no mango y portar cuchillas de diferente ancho.





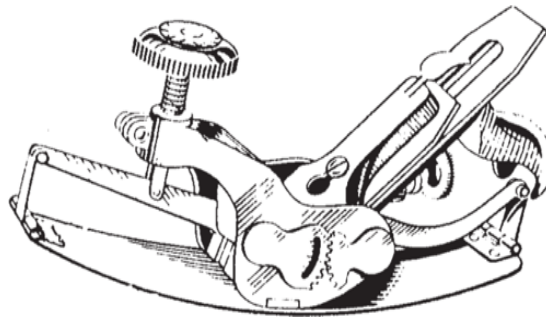
**Figura 26** Guillaume. (Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín Ilustraciones)

- **Cepillo curvo:** La pieza de madera en que va montada la cuchilla tiene forma curva para cepillar superficies. Existen cepillos curvos con la base cóncava, y también con la base convexa.



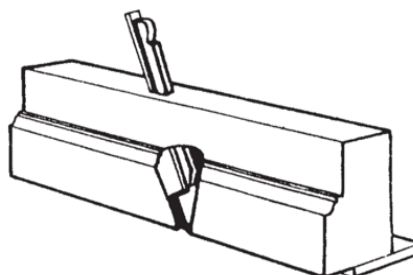
**Figura 27** Cepillo curvo de madera. (Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín Ilustraciones)

En la figura se reproduce un cepillo curvo metálico que puede modificar la curvatura de la superficie donde se encuentra contenida la cuchilla mediante un tornillo regulador.



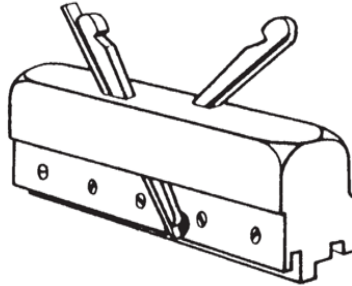
**Figura 28** Cepillo curvo metálico. (Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín Ilustraciones)

- **Rebajador:** Tiene una reglita situada lateralmente en su base que puede regular su posición con lo que se modifica el ancho del corte.



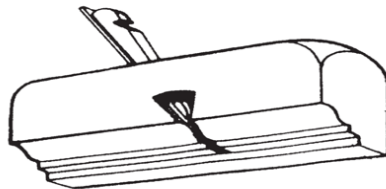
**Figura 29** Rebajador. (Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín Ilustraciones)

- **Machembra:** Tiene dos hojas en sentidos contrarios para hacer respectivamente la lengüeta y la ranura de las uniones machihembradas.



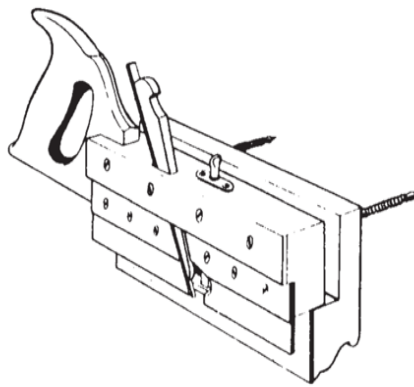
**Figura 30** Machembra. (Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín Ilustraciones)

- **Cepillo de moldurar:** Cepillo con un escalonamiento lateral. Puede tener diferentes formas, pero los más utilizados son los de forma cóncava, bordones, y los de forma convexa, bocales. Pueden ser molduras dobles, con dos cuchillas para completar el corte en el caso de tener mucha longitud.



**Figura 31** Cepillo de moldurar. (Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín Ilustraciones)

- **Acanalador ajustable:** Utilizado para hacer ranuras o canales. Dotado de un sistema para regular la profundidad de la ranura y la distancia al canto de la pieza que le sirve de guía.



**Figura 32** Acanalador ajustable. (Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín Ilustraciones)

- **Rasquetas:** Son hojas de acero templado, semiduro y de calidad, generalmente rectangulares, aunque pueden tener diversas formas para poderse adaptar a diferentes superficies. Sus caras y sus bordes están perfectamente pulidos. Se utilizan para cepillar las superficies.
- **Bastrén:** De dos mangos de madera o metal con una hoja de acero casi siempre regulable. Se utiliza para cepillar las superficies.

### 3.4 Herramientas de acabado de superficies

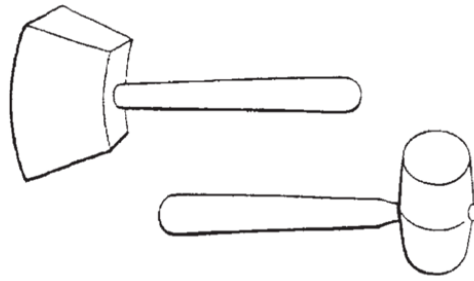
Las herramientas de acabado de superficies son las que permiten la acción de alisar y dar lustre a un objeto hasta dotarlo de una superficie satinada o brillante.

- **Lima:** Pieza de acero con la superficie rugosa, finamente estriada y mango de madera. Las hay con secciones de diferentes formas, de media caña, redondas, triangulares, planas y cuadradas entre otras.
- **Escofina:** Son limas de mayor tamaño, con los dientes gruesos y triangulares, y más separados.
- **Raspilla:** Lámina de acero muy afilada en un extremo y redondeada por el otro.

### 3.5 Herramientas de percusión

Las herramientas de percusión son aquellas herramientas manuales que funcionan o son accionadas por medio de golpes, nos permiten realizar tareas de corte, perforación, marcado, decorado o ensamblado.

- **Mazo o maza:** Formado por un taco de madera con un mango. Se utiliza para ajustar las uniones de madera, golpear los escoplos, gubias, etc.



**Figura 33** Mazo. (Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín Ilustraciones)

- **Martillo de uña:** Consta de una pieza de acero, a modo de cabeza con mango de madera. La cabeza tiene un extremo con final plano y el otro con una hendidura para sacar clavos. El martillo de bola, tiene un extremo de la cabeza redondeado y el otro plano.



**Figura 34** Martillo de uña. (Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín Ilustraciones)

### 3.6 Herramientas de extracción

Las herramientas de extracción como su nombre indica son utilizadas principalmente para extraer tornillos o clavos, así como para embutir los clavos. También se utilizan para separar dos objetos que se encuentren clavados.

- **Tenazas:** Formada por dos piezas de acero que giran alrededor de un punto intermedio en forma de boca en un extremo. Se utiliza para sacar y cortar clavos.



**Figura 35** Tenazas. (Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín Ilustraciones)

- **Botador:** Pieza metálica en forma de cono que se utiliza para embutir clavos. Tiene el mango de madera.



**Figura 36** Botador. (Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín Ilustraciones)

- **Pie de cabra:** Barra de acero alargada con el remate curvado en forma de uña.



**Figura 37** Pie de Cabra. (Fuente: Wikipedia.org)

### 3.7 Herramientas de perforación

Las herramientas de perforación son las que nos permiten perforar o agujerear una superficie.

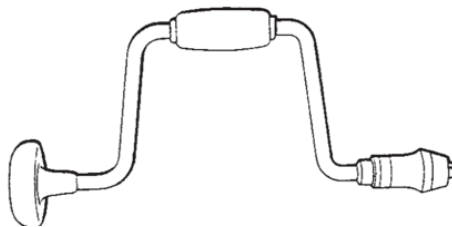
- **Barreno:** Pieza metálica con forma de espiral y mango de madera perpendicular a esta. Se utiliza para hacer taladros de gran diámetro y profundidad.





**Figura 38** Barreno. (Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín Ilustraciones)

- **Berbiquí:** Esta constituido por un brazo metálico en forma de «U» con el dispositivo porta-brocas en un extremo. Se le da movimiento giratorio con una mano a través de un mango de madera mientras se presiona sobre el extremo en otro mango de madera alineado con el porta-brocas. El berbiquí sencillo debe girar 360° para girar la broca, mientras que el berbiquí de trinquete o de carraca puede hacer girar la broca con sucesivos movimientos de giro de avance y retroceso.



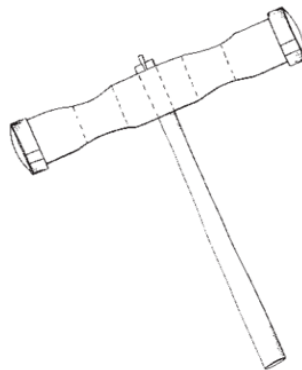
**Figura 39** Berbiquí sencillo. (Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín Ilustraciones)

- Existen diferentes tipos de brocas adecuadas a los diferentes tipos de taladros, irwing, espiral, salomónica, de tres puntas, suiza o de lanza, de tambor y avellanadora entre otras.

### 3.8 Herramientas de calafatear

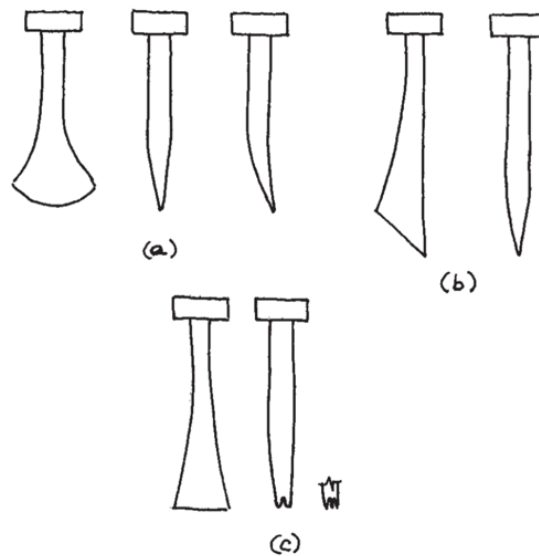
Las herramientas de calafatear son las utilizadas para el proceso de calafatear, que consiste en introducir entro dos tablas del casco de madera una combinación de estopa y brea con la finalidad de evitar la entrada de agua.

- **Mazo o martillo de calafatear:** Pieza cilíndrica de madera con zunchos metálicos en los extremos y mango perpendicular de madera.



**Figura 40** Mazo o martillo de calafatear. (Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín Ilustraciones)

- **Hierros de calafatear** Piezas metálicas con un extremo plano en punta y el otro con una cabeza plana. Básicamente son de tres tipos, hierros de abrir, hierros de meter y hierros de retacar.

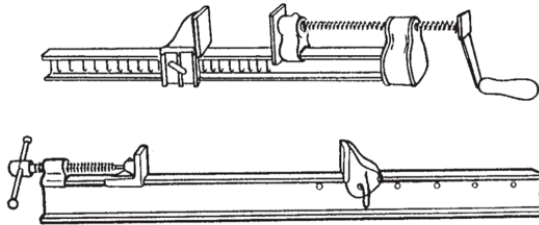


**Figura 41** Mazo o martillo de calafatear y hierros de calafatear. (Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín Ilustraciones)

### 3.9 Herramientas de sujeción

Las herramientas de sujeción son las que nos permiten sujetar o retener aquellas piezas con las que queremos trabajar.

- **Sargento de varas:** Instrumento de hierro, acero o madera formado por dos topos, uno de ellos deslizante y el otro fijo. Se utiliza para fijar las piezas antes de su unión definitiva.



**Figura 42** Sargento de varas. (Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín Ilustraciones)

- **Prensa:**

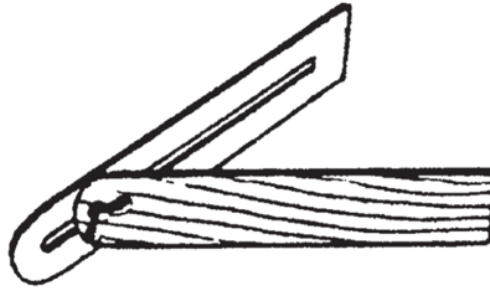


**Figura 43** Prensa. (Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín Ilustraciones)

### **3.10 Herramientas de medida y trazado o marcado**

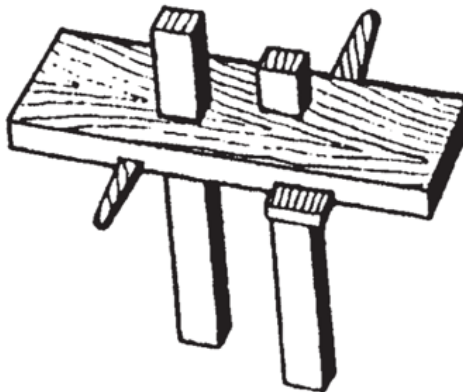
Las herramientas de medida y trazado nos permiten reproducir en una superficie u objeto las referencias con precisión necesarias para desarrollar los procesos de fabricación posterior.

- **Falsa escuadra:** Ángulo metálico cuyos dos brazos pueden girar y ajustarse mediante un tornillo y mariposa. Se utiliza para trasladar ángulos.



**Figura 44** Falsa escuadra. (Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín Ilustraciones)

- **Gramil:** Tablilla con una cara plana que sirve de guía y uno o dos listones móviles que la atraviesa y en cuyo extremo se sitúa un punzón que marca la madera. Se utiliza para trazar una línea paralela a un canto.

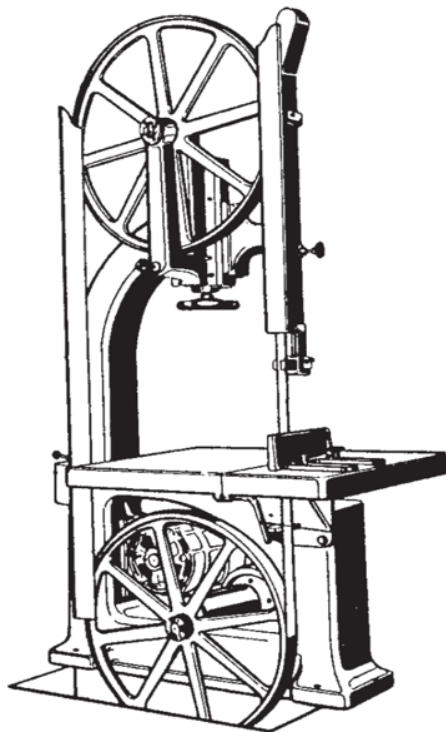


**Figura 45** Gramil. (Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín Ilustraciones)

Otras herramientas de este tipo son:

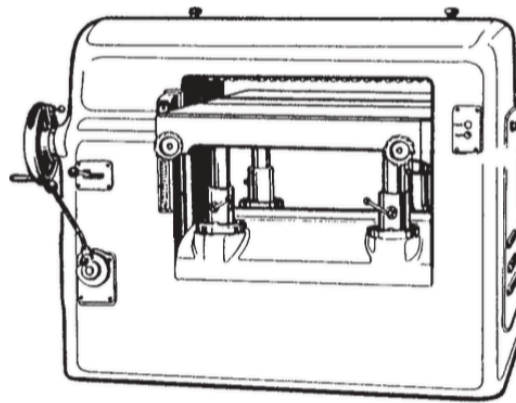
- La regla
- La filástica, cuerda de lana impregnada en tinte.
- El metro, normalmente de madera plegable con escala de medida grabada.
- La escuadra, construida en acero y antiguamente en madera se utiliza para el trazado y comprobación de ángulos rectos.
- El lápiz de carpintero
- La plomada, hilo de una cierta longitud con un peso metálico puntiagudo en el extremo
- El nivel de burbuja
- El compás de puntas o compás de punta recta, utilizado para trasladar medidas o señalarlas sobre la madera.
- El compás de grueso, de brazos curvos, que se utiliza para la medida de los gruesos
- La bigotera, con dos brazos unidos con un fleje circular y un tornillo pasante para fijarlos en una posición.
- El compás de varas, formado por un listón cuadrado de madera sobre el que se deslizan y fijan dos tacos perpendiculares provistos de sendas puntas de acero para marcar.

La introducción de la mecanización en la carpintería permitió facilitar la dureza del trabajo de algunos de los procesos relacionados con el corte y preparación de las piezas de madera. Hasta los años sesenta la mecanización se concentraba en las sierras de cinta para el corte de piezas y tablones, la cepilladora para planificar una de las caras de los mismos, la regruesadora para la planificación de la otra, el tupí para la preparación de los cantos planos, y las máquinas universales que podían incorporar a algunas de las funciones anteriores junto con otras adicionales como el taladrado.



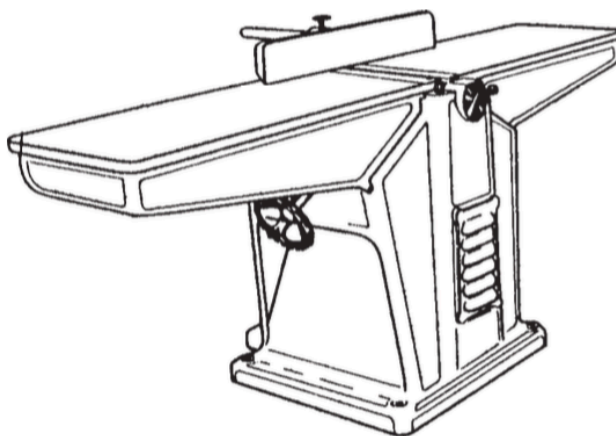
**Figura 46** Sierra de cinta. (Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín Ilustraciones)





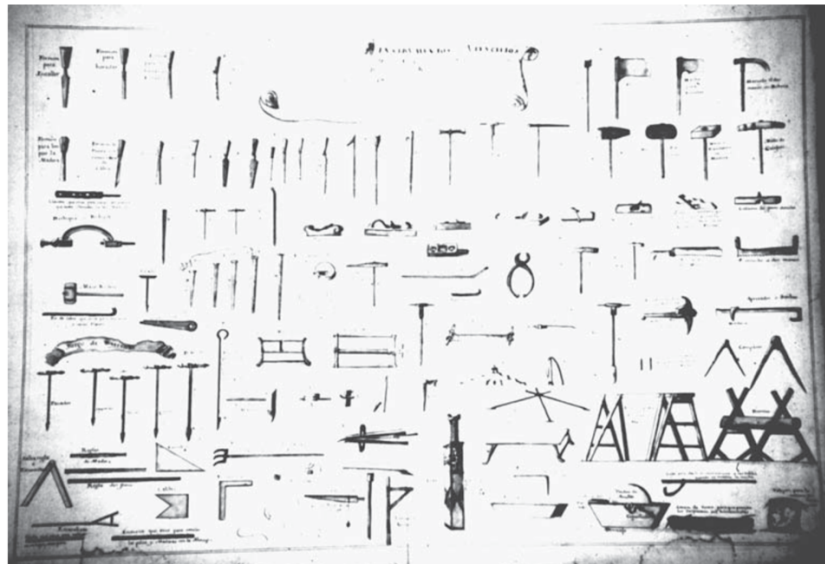
**Figura 47** Regruesadora. (Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín Ilustraciones)

La principal característica de las sierras de cinta es el diámetro del volante, que solía ser de 70 u 80 centímetros y de las cepilladoras y regruesadoras el ancho de la mesa que se encontraba entre los 40 y 50 centímetros.

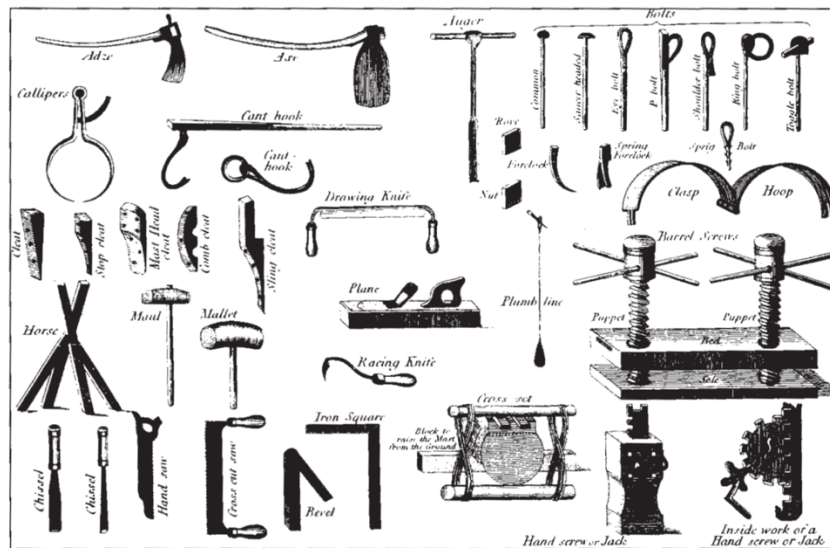


**Figura 48** Cepilladora. (Fuente: Os Oficios de Lorenzo, Xaquín Ilustraciones)

En épocas más recientes las herramientas eléctricas han ocupado también el lugar de las herramientas manuales en gran parte de las tareas más duras como es el caso de las sierras circulares y los taladros. No obstante, los carpinteros de ribera que siguen trabajando la madera aún con sus herramientas manuales para los trabajos más delicados.



**Figura 49** Herramientas de carpintería utilizadas en España. (Fuente: Álbum del Marqués de la victoria)



**Figura 50** Herramientas de carpintería utilizadas en Inglaterra. (Fuente: Álbum del Marqués de la victoria)

## **CAPÍTULO 4**

### **EL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN**

El proceso más común utilizado por los constructores de buques de madera es el proceso tradicional de tipo secuencial.

La planificación del buque se centra en una base de unas dimensiones principales. Dependiendo de las características más importantes, como son la eslora total, la manga y el puntal de construcción, y dependiendo del tamaño del buque pueden variar las especificaciones de los materiales.

Primero se elaboran las piezas fundamentales que forman la estructura de la embarcación. Empezando por la selección de la madera y continuando con el trazado y el corte de las diferentes piezas.

La última parte del proceso constructivo de la estructura finaliza con el montaje a bordo de la embarcación, con el ensamblaje de unas piezas con otras. La quilla y sus prolongaciones la roda y el codaste, junto con las cuadernas son los elementos sobre los que se sustenta la estructura de una embarcación.

Las características principales que definen el casco de una embarcación son los siguientes:

- Tipo de embarcación.
- Eslora total , manga total, y puntal de construcción.
- Tipo de proa y popa.

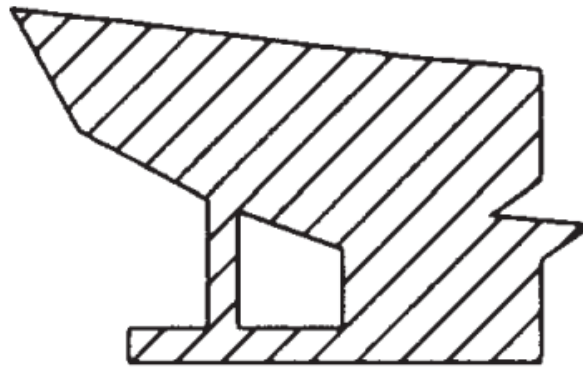
La estructura de las embarcaciones de madera está formada por un número muy elevado de piezas conectadas mediante uniones estructurales, fijadas por clavos y tornillos.

La estructura básica es del tipo transversal, formada por las cuadernas, que van unidas por su parte inferior a la pieza longitudinal en que se sustenta toda la estructura, llamada quilla. La quilla se prolonga a proa y a popa en dos piezas que forman los cierres del barco, denominados roda y codaste. Sobre el fondo de las cuadernas se dispone la sobrequilla que es otra pieza longitudinal que va longitudinalmente de proa a popa, y que refuerza junto con la quilla la unión de las cuadernas. Además de estas piezas, las cuadernas van sujetas entre sí longitudinalmente por los durmientes, en los que se apoyan los baos, que soportan la cubierta, las tapas de trancaniles y los palmejares.

Para dotar de estanqueidad al casco del barco, la estructura se forra con piezas longitudinales de madera.

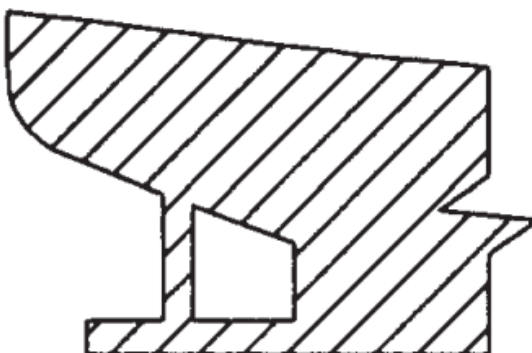
#### 4.1 Tipos de popa

Las primeras popas de las embarcaciones de madera eran del tipo popa de rabo de gallo. Una de las características de las popas de rabo de gallo era que al navegar en mares agitados, el casco producía un gran impacto debido a la forma plana de la parte de la popa. En el año 1960 este tipo de popas fueron prohibidas por la administración, debido a su peligrosidad.



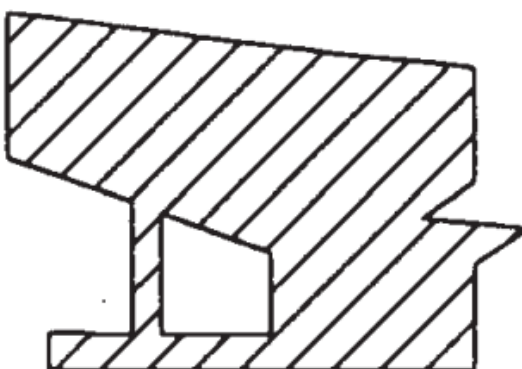
**Figura 51** Popa de lucra. (Fuente: Construcción de un navio de madera, Ferreira,R.C)

Las popas de rabo de gallo fueron sustituidas por las popas de lucra, corresponden al tipo de popa de los cruceros, y es la menos utilizada para la construcción de embarcaciones de madera. Uno de los motivos para utilizar este tipo de popa fue para facilitar recoger el aparejo por la popa, ya que de esta forma no golpeaba el casco.



**Figura 52** Popa de rabo de gallo. (Fuente: Construcción de un navio de madera, Ferreira,R.C)

Finalmente tenemos las popas de espejo, las cuales permiten una mayor amplitud de la cubierta en la zona de popa y presentan una mayor facilidad constructiva. Por este motivo fueron las más utilizadas, siendo las preferidas por los armadores y los constructores de buques.



**Figura 53** Popa de espejo. (Fuente: Construcción de un navio de madera, Ferreira,R.C)

## **4.2 Construcción de la quilla**

La quilla es la parte más importante de la estructura de una embarcación. La quilla es una pieza larga y recta formada por un material robusto. Recorre la parte inferior del barco de proa a popa y forma la base de la estructura del barco dándole rigidez y resistencia.

Al tratarse de un proceso de tipo secuencial, la construcción se inicia con la disposición en el piso del astillero de unos calzos de madera o picaderos, adecuadamente nivelados sobre el que se apoya la quilla.

Dependiendo de su longitud, la quilla está formada en general por varias piezas, unidas a unión a junta entera. La quilla se une por su extremo de proa a la roda con el mismo tipo de unión y en la popa al codaste dispuesto perpendicularmente con una unión a caja y espiga. Una vez ensambladas estas piezas se nivelan mediante nivel y plomada para asegurar que se encuentran en un mismo plano vertical.

La quilla suele llevar en su cara inferior una falsa quilla o zapata de madera cuya misión es protegerla del desgaste que se produce debido a las varadas del barco, accidentales en los bajos fondos o voluntarias en las playas, que se sustituye fácilmente cuando el deterioro lo requiere. Actualmente se emplea un perfil en U de acero en el lugar de la falsa quilla.

Una vez colocados la quilla, la roda y el codaste se procede al enramado de las cuadernas.



### **4.3 Construcción de las cuadernas**

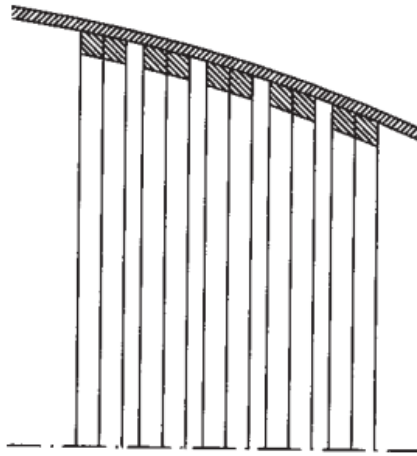
El siguiente paso en la construcción de una embarcación, una vez colocados la quilla, la roda y el codaste, es el enramado de las cuadernas también denominadas armazones.

Las cuadernas forman la estructura transversal del barco de madera y están construidas por diferentes piezas debido a la imposibilidad de encontrar troncos de madera con la forma completa de la misma.

Las cuadernas pueden ser sencillas con las diferentes piezas unidas a solape con clavos, o dobles formadas cada una de ellas por diferentes piezas unidas a tope y de tal manera que las juntas de cada pieza se alternen en cada cuaderna sencilla, uniéndose las dos cuadernas mediante clavazón. Para formar cada cuaderna doble de varias piezas debemos mirar de conseguir que cada pieza respete el sentido de la fibra de la madera y por tanto se obtenga su mejor resistencia, cosa imposible de conseguir con la cuaderna de una pieza completa debido a su fuerte curvatura. Las cuadernas sencillas se utilizan en embarcaciones menores y las cuadernas dobles se utilizan siempre a partir de un cierto tamaño de la embarcación.

Una vez construidas las cuadernas se unen a la quilla cada una en su posición desde la proa a la popa. Para evitar que se abran los extremos superiores de las cuadernas se unen provisionalmente con un listón de madera.

Las cuadernas o armazones deben estar achaflanadas con un cierto ángulo que corresponde al que pide la tabla del forro debido a la curvatura de las líneas horizontales o líneas de agua.



**Figura 54** Popa de espejo. (Fuente: Construcción de un navio de madera, Ferreira,R.C)

Una vez enramadas las cuadernas se coloca la sobrequilla, formada como la quilla por varias piezas unidas con escarpes, sobre las cuadernas de proa a popa. En general el espacio entre la quilla y la sobrequilla se maciza con piezas de madera al menos en los extremos de proa y popa.

La sobrequilla va endentada a las cuadernas, y a continuación se asegura con clavos la quilla, la cuaderna y sobrequilla con lo que se consigue una robusta conexión entre los elementos transversales y su soporte longitudinal. Los clavos van cada dos cuadernas con la cabeza en la quilla.

#### **4.4 Uniones estructurales**

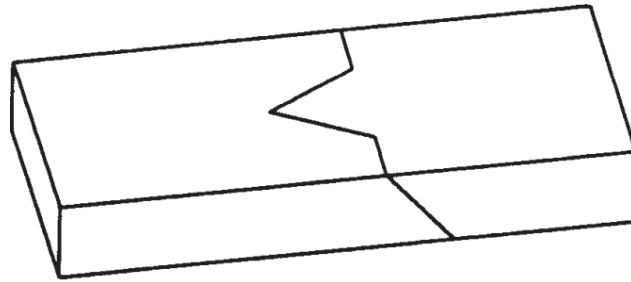
La estructura del caso se forma con la unión de diferentes piezas. Estas uniones conectan las piezas impidiendo su movimiento relativo en una o varias direcciones, por lo que en general es necesario fijar estas uniones en las direcciones en que no están trabadas mediante la ayuda de clavos y tornillos.

Estas piezas se unen unas con otras mediante empalmes como la unión a tope, a pico de flauta, a solape, a junta entera y machihembrada. También pueden unirse mediante ensambles como la unión endentada y la unión a cola de milano, que pueden ser a media madera o a madera entera y la unión a caja y espiga.

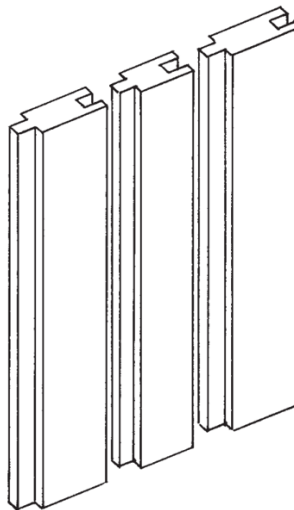
La unión a tope se emplea cuando no hay transmisión de fuerzas de una pieza a otra, se utiliza para unir las piezas del forro y de la cubierta, fijadas mediante clavazón a las cuadernas y a los baos respectivamente.

Para unir dos piezas de las mismas dimensiones y mantener la continuidad se utilizan las uniones del tipo pico de flauta, también llamada unión a cuchillo, que se utilizan, entre otras, en las uniones de la tapa de regala.

Para conseguir una superficie continua se emplea la unión machihembrada, que se utiliza para la unión de los mamparos transversales.



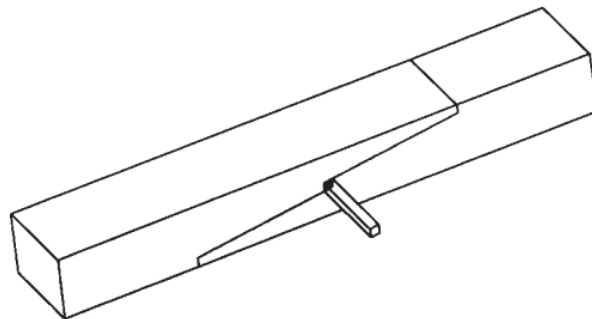
**Figura 55** Unión pico de flauta. (Fuente: Construcción de un navio de madera, Ferreira,R.C)



**Figura 56** Unión machihembrada. (Fuente: Construcción de un navio de madera, Ferreira,R.C)

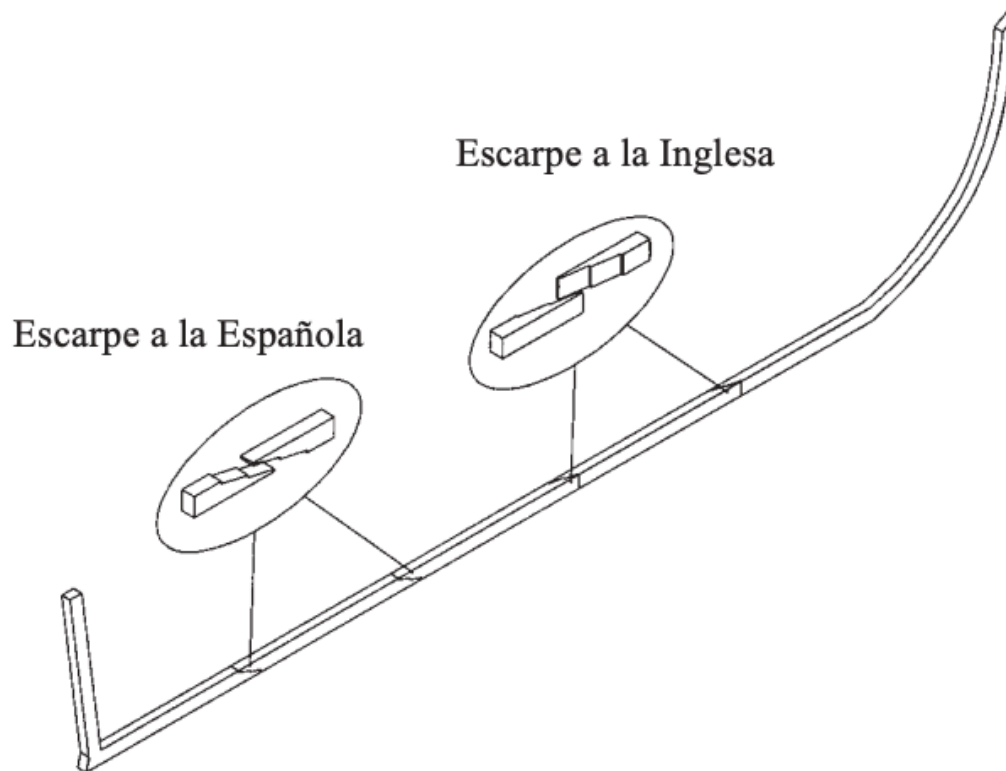
Para unir las diferentes piezas de la quilla, sobrequilla y de la roda se utiliza la unión a junta entera. Con el fin de conseguir un buen contacto entre las superficies del corte, se introduce una cuña a mitad del escarpe que, una vez unidas las piezas, se cortan los dos extremos.

Hay una regla que dice que el largo de los escarpes debe ser igual a tres veces el grueso de la quilla.



**Figura 57** Unión a junta entera. (Fuente: Construcción de un navio de madera, Ferreira,R.C)

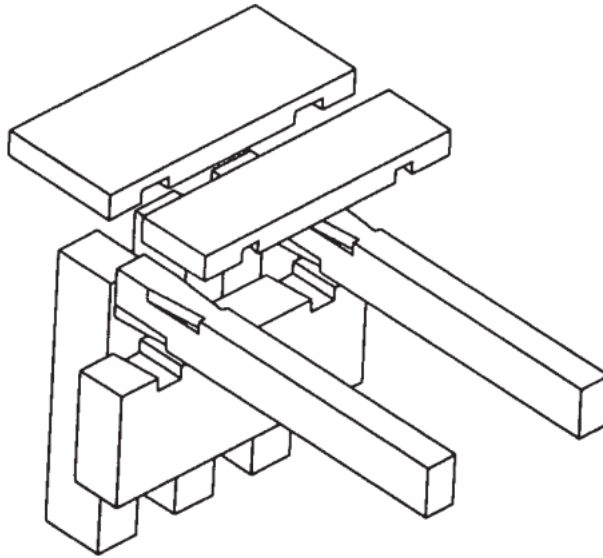
Los constructores españoles utilizaban el escarpe paralelo a la base de la quilla, mientras los constructores ingleses utilizaban el escarpe perpendicular a la base de la quilla. Siendo la técnica española la que aportaba mas resistencia a la quilla.



**Figura 58** Unión piezas de la quilla según el tipo de construcción. (Fuente: Construcción de un navío de madera, Ferreira,R.C)

Otro tipo de unión es la unión endentada, que impide el desplazamiento relativo de las piezas en una dirección. Se suele utilizar para unir los trancaniles a los baos, aunque la manera más eficaz sería la unión a cola de milano.

La unión a cola de milano impide el movimiento en un plano de una pieza respecto a la otra. Es la unión utilizada para unir los baos con los durmientes. En la cara inferior de los extremos de los baos se hace un corte a cola de milano y en los durmientes los encajes.



**Figura 59** Unión a cola de milano. (Fuente: Construcción de un navio de madera, Ferreira,R.C)

#### **4.5 Refuerzos del casco**

Los elementos principales que refuerzan el casco de una embarcación son la quilla y la sobrequilla. Además de estos elementos, tenemos otros elementos de refuerzo longitudinal en la estructura como los palmejares, los durmientes y las tapas trancanil.

Los palmejares son elementos longitudinales unidos a las cuadernas por su cara interior y que se extienden de proa a popa con el objeto de rigidizar el conjunto de las cuadernas y aportar resistencia longitudinal al conjunto. Dependiendo del tamaño del buque se disponen uno, dos o más palmejares.

Los durmientes son las piezas longitudinales que corren por la cara interior de las cuadernas inmediatamente por debajo de la línea de arrufo de la cubierta y que sirven de apoyo a los baos, piezas transversales que soportan la cubierta, dotando además al casco de una adecuada resistencia longitudinal. Los sotadurmientes son unos segundos durmientes unidos a estos por su cara inferior. Los durmientes van clavados a las cuadernas y unidos al sotadurmiente si lo lleva con un perno.

A lo largo de la cubierta sobre los baos en el costado se sitúa la tapa trancanil que tapa y protege los extremos de las cuadernas, y el canto superior de los durmientes y de la primera pieza del forro exterior. La tapa trancanil es de dimensiones mayores en ancho y grueso que las tablas de la cubierta porque contribuye a la resistencia longitudinal del barco.

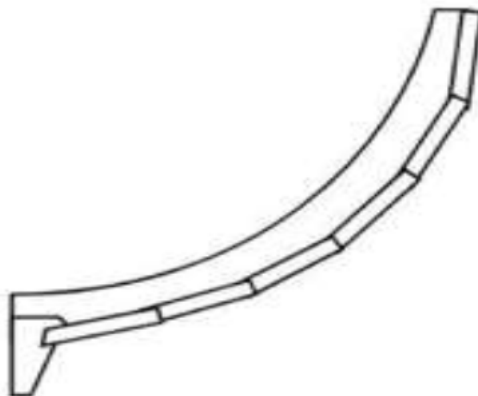


## 4.6 Forrado del casco

El forrado del casco se basa en dar forma al casco mediante listones de madera que van de la proa a la popa de la embarcación y de estribor a babor, de tal modo que se refuerce toda la cavidad del buque. Se realiza una vez finalizada la disposición de los elementos estructurales.

### 4.6.1 Forro a tope o carabela

Esta técnica se caracteriza principalmente por la distribución de tracas de madera a lo largo de todo el casco de la embarcación. Las tracas no van unidas a las cuadernas, sino que van unidas entre ellas tope, es decir, canto con canto. Con este método de forrado lo que conseguimos es formar una superficie lisa.



**Figura 60** Forro a tope. (Fuente: Wikipedia.org)

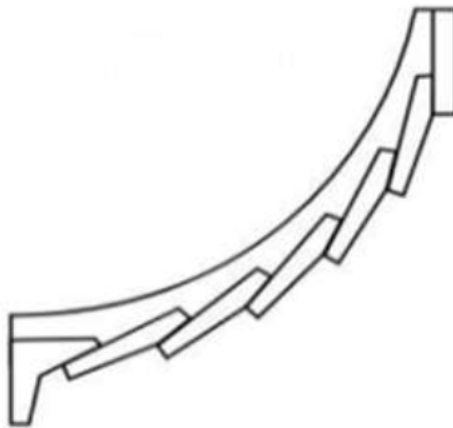
Para conseguir que haya estanqueidad entre las juntas, éstas se calafatean o impermeabilizan para que así no pueda penetrar el agua en ellas.

El Calafateado es la operación de rellenar con fibras de algodón y estopa, que es un material compuesto de fibras de cáñamo bañadas en resina de pino, las juntas de las tracas de fondo, costados y cubiertas, donde después se cubren con una capa de brea, sustancia viscosa de color negro que se obtiene por destilación de ciertas maderas y del carbón mineral.

#### **4.6.2 Forro a tingladillo**

Las tracas en este método se disponen de tal manera que los bordes se montan ligeramente unos sobre otros. Este procedimiento es previo al montaje de la estructura del barco, la estructura interna o esqueleto se construye una vez que el casco va tomando forma, al contrario del método de forrado a tope.

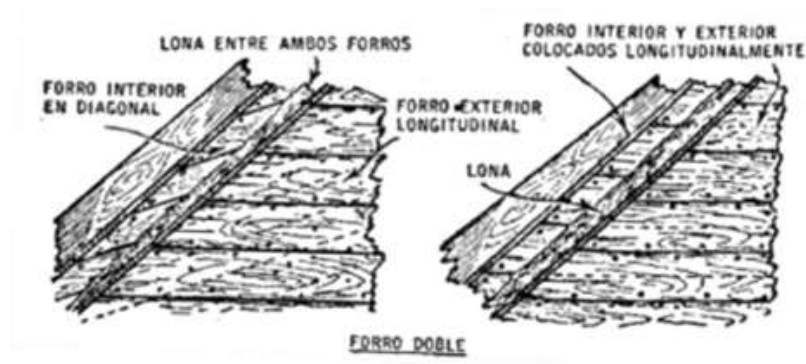
Al encajarse y solapar los bordes de cada traca no se hace necesaria la implementación del calafateo porque este método de forrado ya dota la embarcación de estanqueidad.



**Figura 61** Forro a tingladillo. (Fuente: Wikipedia.org)

#### 4.6.3 Doble forro

Es una técnica que se basa en el forro a tope, pero aplicando una capa más encima del forrado inicial. La segunda capa, normalmente, se aplica en una dirección diferente a la anterior para así dar resistencia a la embarcación en más sentidos.

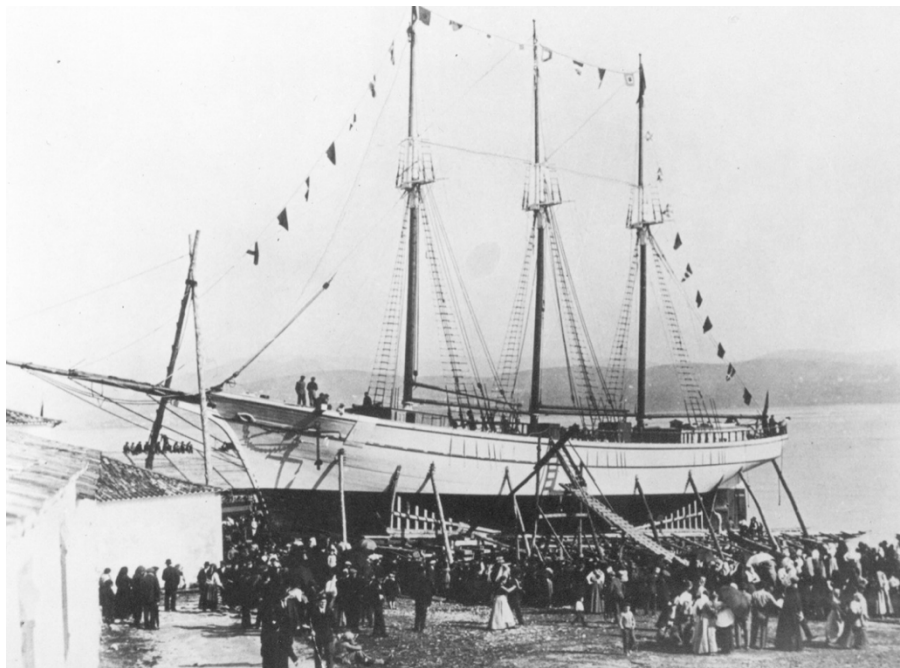


**Figura 62** Doble forro. (Fuente: upcommons.upc.edu)

#### 4.7 Puesta a flote y botadura

La puesta a flote y la posterior botadura son consideradas las últimas etapas de la construcción de una embarcación.

Antiguamente cuando la construcción se realizaba en una playa, para hacer la puesta a flote era necesario esperar a la marea. Durante la bajamar se arrastraba el casco sobre troncos, ayudado por bueyes en caso de embarcaciones de gran porte, hasta la zona intermedia, donde la siguiente pleamar se encargaba de ponerlo a flote.



**Figura 63** Botadura en el mar. (Fuente: navegarespreciso.com)

El método más utilizado para la botadura es el sistema de zapata y corredera situadas en la quilla. Antes de iniciar la botadura se transfiere el peso del barco a la corredera mediante el acuñado de unas piezas de madera de poco ángulo llamadas lengüetas que se encuentran debajo de la corredera, entre ésta y los picaderos de apoyo situados sobre el terreno. La corredera es fijada al suelo, para evitar ser arrastrada durante la botadura. La caída de la corredera debe ser de unos 5 grados.

Una vez el barco flote y este amarrado al muelle del astillero, es cuando se terminan las fases de la instalación de maquinaria, las acomodaciones y el pintado final de la obra muerta.



**Figura 64** Botadura con el método de zapata. (Fuente: docplayer.es)

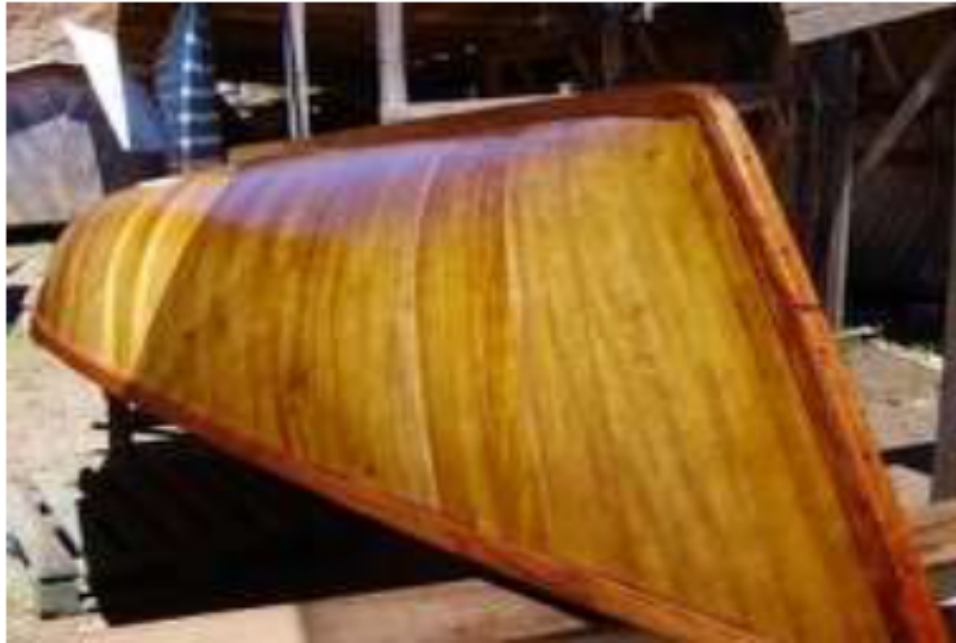
#### **4.8 Técnicas modernas de construcción:**

En la actualidad las pequeñas embarcaciones de madera se siguen construyendo utilizando prácticamente las técnicas antiguas que se usaban en el siglo XVII. Una de las novedades en los astilleros de pequeñas embarcaciones de madera, es el uso de máquinas para facilitar las tareas que antes realizaban las herramientas de los antiguos constructores de embarcaciones de madera. En cuanto a las técnicas se han ido modernizando para mejorar las cualidades de las embarcaciones, así como reducir el tiempo de construcción y reducir el precio final. Las técnicas más empleadas actualmente son las siguientes: madera laminada, contrachapado, cosido y estratificado y forro de listones.

##### **4.8.1 Madera laminada:**

La madera laminada ha permitido ampliar la gama de usos de la madera donde se resaltan sus cualidades estéticas, físicas y de durabilidad. Su conductividad térmica es muy inferior a la de otros materiales, otorgando excelentes condiciones aislantes.

Las desventajas de la madera laminada es el alto precio, especialmente en vigas rectas. Elementos de gran longitud y gran curvatura son muy difíciles de manipular, lo que incide en el coste final del elemento de madera laminada.



**Figura 65** Madera Laminada (Fuente: [www.wiki.ead.puc.cl](http://www.wiki.ead.puc.cl))

#### **4.8.2 Contrachapado:**

Madera de ingeniería creada, a partir de hojas delgadas de madera. Las capas se pegan entre sí, de modo que las capas forman ángulos rectos unos con otros proporcionando mayor fuerza al conjunto.

Una de las ventajas para el uso de este tipo de madera es su resistencia al agrietamiento, la contracción, deformación, y su fuerza general. La madera contrachapada marina es altamente resistente al tiempo, a los microorganismos, al agua, al vapor, y al calor seco. Este tipo de contrachapado se diseña

especialmente para resistir el ambiente de humedad alta, y por lo tanto se prefiere en la construcción de muelles y barcos.

#### **4.8.3 Cosido y estratificado:**

El argumento básico para la construcción punto y pega es que son necesarios menos pasos en la elaboración del forro. En la técnica de cosido y estratificado, en inglés “Stich and Glue”, se requieren de menos pasos para cubrir el casco. La construcción inicial es más rápida y más fácil, utiliza menos piezas, y no requiere moldes de construcción. A largo plazo, el barco es mucho más fácil de mantener. Es una técnica muy efectiva a la hora de construir pequeñas embarcaciones Como kayaks, piraguas y todo tipo de pequeños veleros. Con la llegada de las modernas resinas de epoxi y la madera contrachapada de calidad, rápidamente se vio que se podían construir pequeñas embarcaciones sin recurrir a complejos armazones, moldes o cuadernas





**Figura 66** Cosido y estratificado (Fuente: [www.wiki.ead.puc.cl](http://www.wiki.ead.puc.cl))

#### **4.8.4 Forro de listones:**

Esta técnica moderna de construcción del forro, es básicamente o sigue los mismos pasos que se dan en la técnica tradicional forro a tope, ya que en vez de tracas o tablas de una anchura considerable se emplean los listones. Se tendrá que fabricar un armazón y forrar todo el casco mediante tiras de madera que se van ajustando una a una. Esta técnica tiene una gran complejidad, al incrementarse en gran medida el número de pasos a seguir para su construcción. Es una técnica económica desde el punto de vista del material, aunque sin duda es la que mayor coste conlleva, debido a la cantidad de horas que se le deben emplear.



**Figura 67** Forro de listones (Fuente: [www.wiki.ead.puc.cl](http://www.wiki.ead.puc.cl))

## **CONCLUSIONES**

Destacar la gran importancia de la navegación. Desde los egipcios, mayas y vikingos que usaron las embarcaciones primero para poder pescar y posteriormente para el transporte, y la guerra. Las embarcaciones han estado en constante evolución hasta el siglo XVII, cuando empezaron a construirse con metal, en sustitución de la madera. Posteriormente, con la revolución industrial las embarcaciones siguieron evolucionando, convirtiendo el sector marítimo en el medio de transporte más seguro, eficaz y el más usado actualmente.

Respecto a la tradicionalidad del oficio de los constructores de embarcaciones de madera. Con el paso del tiempo aún siguen manteniendo las técnicas y las herramientas que usaban en aquella época, ayudándose de la modernización para facilitar alguna de sus tareas.

Actualmente las embarcaciones de madera que son construidas desde cero, son muy pocas. Los antiguos constructores de embarcaciones de madera ahora se dedican a trabajar en réplicas, rehabilitaciones, restauraciones y recuperaciones.

## **RECOMENDACIONES**

La madera fue el único material empleado en la construcción de cascos y estructuras de buques. Actualmente, la madera debe competir con otros materiales como el acero, el aluminio y el plástico. Por esta razón, los antiguos constructores de embarcaciones de madera pasaron de construir embarcaciones desde cero, a trabajar en réplicas, rehabilitaciones, restauraciones y recuperaciones.

Su adaptación ha permitido conservar el arte de construcción de las embarcaciones hechas con madera, así como sus principales técnicas de construcción, ya que siguen empleando la mayoría de sus herramientas antiguas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Anónimo. Tecnología de la madera, Edebé, Barcelona, 1965.
- [2] Apestegui, C. Arquitectura y construcción navales en la España Atlántica, el siglo XVII y primera mitad del XVIII. Una nueva sistematización, 2001.
- [3] Besednjak Dietrich, A. Materiales compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones. 1ª ed. Barcelona: Edicions UPC, 2005.
- [4] De Aranda y Antón, G. La carpintería y la industria naval en el siglo XVIII.
- [5] Instituto de Historia y Cultura Naval. Nº. 33., 1999.
- [6] Ferreira, R.C. A construção do navio de madeira, Lisboa, 1932.
- [7] Hormaechea, C. La construcción naval española del siglo XVIII a través de algunos modelos de arsenal del Museo Naval de Madrid. 2012.
- [8] Lorenzo Fernández, X.: Os oficios. Editorial Galaxia, 1983.
- [9] Navarro De Viana, J.J. Marqués de la Victoria. Museo Naval, Madrid, Manuscrito 2463.
- [10] Nuere Matauco, E.: La carpintería de armar española, Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Madrid, 1989

## WEBGRAFÍA

- [1] Botadura embarcación. Disponible en <[http://m.navegar-espreciso.com/news/pailebots-o-pailebotes-de-cabotaje-o-gran-cabotaje-en-el-mediterraneo-occident al-durante-los-siglos-xix-y-xx/](http://m.navegar-espreciso.com/news/pailebots-o-pailebotes-de-cabotaje-o-gran-cabotaje-en-el-mediterraneo-occident-al-durante-los-siglos-xix-y-xx/)>
- [2] Clasificación de las maderas por su durabilidad natural. Disponible en <<https://www.inti.gob.ar/publicaciones/descargac/360>>.
- [3] Construcción naval. Disponible en <<https://es.wikipedia.org/wiki/Cayuco>>.
- [4] Historia de los Barcos. Disponible en <<https://www.historiando.org/historia-de-los-barcos/>>.
- [5] Margaret Alison. Disponible en <<http://elmoll.arenys.cat/estol/margaret-alison>>.
- [6] Propuesta de un procedimiento alternativo para el forrado de embarcaciones de madera. Disponible en <[https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/118865/133738\\_Propuesta%20de%20un%20procedimiento%20alternativo%20pa ra%20el%20forrado%20de%20embarcaciones%20de%20madera.pdf?sequence =1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/118865/133738_Propuesta%20de%20un%20procedimiento%20alternativo%20pa ra%20el%20forrado%20de%20embarcaciones%20de%20madera.pdf?sequence =1&isAllowed=y)>
- [7] Quinquerreme. Disponible en <<https://es.wikipedia.org/wiki/Quinquerreme>>.